

Method of correcting disturbing influences on the MR signals of a substance disposed in the measuring volume of an MR apparatus

Patent number: DE10032345
Publication date: 2002-01-31
Inventor: NAUERTH ARNO (DE)
Applicant: BRUKER MEDICAL GMBH (DE)
Classification:
- international: **G01R33/46; G01R33/389; G01R33/44; G01R33/38;**
(IPC1-7): G01R33/389
- european: G01R33/46C
Application number: DE20001032345 20000704
Priority number(s): DE20001032345 20000704

Also published as:

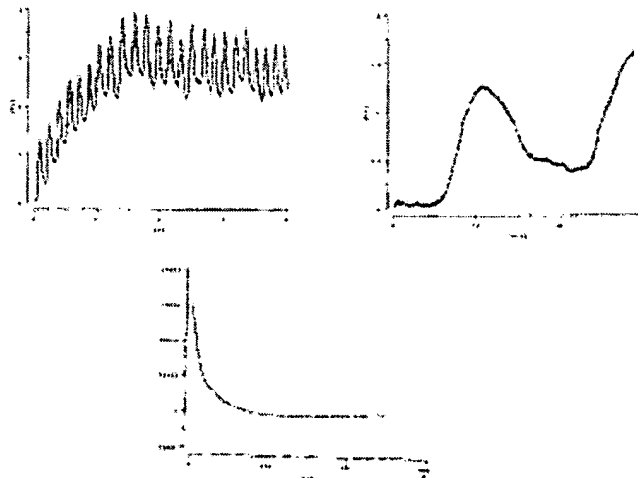


US6552541 (B2)
US2002003422 (A1)
GB2369684 (A)

Report a data error here

Abstract not available for DE10032345
Abstract of corresponding document: **US2002003422**

A method of correcting disturbing influences on MR (=magnetic resonance) signals of a substance disposed in the measuring volume of an MR apparatus excited by one or more RF (=radio frequency) excitation pulses, wherein an RF excitation pulse is irradiated onto the substance and a time-dependent MR signal generated thereby is detected and digitized in a phase-sensitive fashion, wherein a time dependence (1) $\Delta\phi_{\text{phii}}(t_i)$ of the phase of an MR signal, relative to a predetermined reference phase $\phi_{\text{refi}}(t_i)$ of a reference signal $s_{\text{refi}}(t_i)$, is determined and digitized from a time dependence (1) $s_i(t_i)$ of the detected and digitized MR signal and one or more correction or controlled variables are determined therefrom. Nearly all measuring points are used for determination of the magnetic field deviation and thus for control to guarantee considerably improved control accuracy.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide



21 Aktenzeichen: 100 32 345.6
22 Anmeldetag: 4. 7. 2000
43 Offenlegungstag: 31. 1. 2002

DE 100 32 345 A 1

71 Anmelder:
Bruker Medical GmbH, 76287 Rheinstetten, DE

74 Vertreter:
Kohler Schmid + Partner, 70565 Stuttgart

72 Erfinder:
Nauerth, Arno, Dipl.-Inf., 76872 Erlenbach, DE

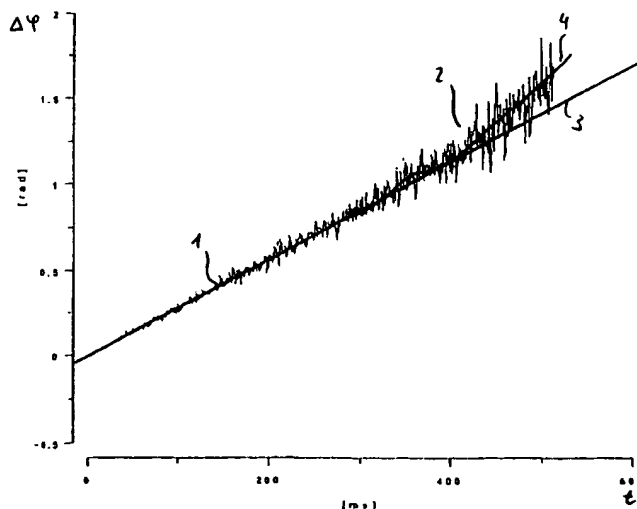
56 Entgegenhaltungen:
DE 23 52 315 C2
DE 3 685 94 7T2
EP 05 22 191 A1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Verfahren zum Korrigieren von Störeinflüssen auf die MR-Signale einer im Messvolumen einer MR-Apparatur angeordneten Substanz

57 Ein Verfahren zum Korrigieren von Störflüssen auf die durch einen oder mehrere HF(= Hochfrequenz)-Anregungsimpulse angeregten MR(= Magnetresonanz)-Signale einer im Messvolumen einer MR-Apparatur angeordneten Substanz, bei dem ein HF-Anregungsimpuls auf die Substanz eingestrahlt und ein damit erzeugtes zeitabhängiges MR-Signal phasenempfindlich detektiert und digitalisiert wird, wobei aus einem zeitlichen Verlauf $s_i(t_i)$ des detektierten und digitalisierten MR-Signals ein zeitlicher Verlauf (1) $\Delta\phi_i(t_i)$ der Phase des MR-Signals bezogen auf eine vorgegebene Referenzphase $\phi_{ref}(t_i)$ eines Referenzsignals $s_{ref}(t_i)$ ermittelt und digitalisiert wird und daraus eine oder mehrere Korrektur- bzw. Regelgrößen bestimmt werden. Es geht nahezu jeder Messpunkt in die Bestimmung der Magnetfeldabweichung und damit in die Regelung ein. Somit ist eine erheblich größere Regelgenauigkeit gewährleistet.



DE 100 32 345 A 1

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Korrigieren von Störeinflüssen auf die durch einen oder mehrere HF(= Hochfrequenz)-Anregungspulse angeregten MR (= Magnetresonanz)-Signale einer im Messvolumen einer MR-Apparatur angeordneten Substanz, bei dem ein HF-Anregungsimpuls auf die Substanz eingestrahlt und ein damit erzeugtes zeitabhängiges MR-Signal phasenempfindlich detektiert und digitalisiert wird.

[0002] Ein derartiges Verfahren ist zum Beispiel durch die DT 23 52 315 C2 und die EP 0 522 191 A1 bekannt geworden.

[0003] Man ist bestrebt, die MR-Feldstabilisierung möglichst genau vorzunehmen, um das Magnetfeld so konstant wie möglich zu halten. Dabei sollen sowohl kleine Störampplituden, die zu einer kleinen Frequenzänderung führen, als auch relativ große externe magnetische Störampplituden kompensiert werden.

[0004] Feldinstabilitäten sind insbesondere bei Langzeitexperimenten, die mehrere Stunden dauern können, störend. Selbst bei den modernsten supraleitenden Magneten ändert sich das Magnetfeld mit der Zeit aufgrund von einem sehr geringen, aber bedeutsamen elektrischen Widerstand der Spule selbst und aufgrund von äußeren Einflüssen, wie z. B. der Umgebungstemperatur. Um die Feldinhomogenitäten zu kompensieren ist es bekannt, ein MR-Signal als Referenz in einer Kontrollschaltung zu verwenden. Dazu wird die Form des Dispersionssignals ausgenutzt. Im Zentrum des Signals ist die Amplitude gleich Null, aber auf beiden Seiten des Zentrums ist es jeweils nicht gleich Null. Von Bedeutung ist, dass das Vorzeichen des Signals sich beim Resonanzdurchgang ändert. Wenn das zuerst detektierte Signal exakt bei Resonanz detektiert wird und das Magnetfeld sich dann ändert, wird an einem Detektor ein Signal erzeugt. Das Vorzeichen des Signals zeigt an, in welche Richtung das Magnetfeld sich verändert hat. Bei einem supraleitenden Magnet wird das sogenannte Locksignal verstärkt und einer Spule zugeführt, die ein Magnetfeld erzeugt, das das Hauptmagnetfeld entweder verstärkt oder schwächt. Bei einem Elektromagnet wird durch das Locksignal der dem Magnet zugeführte Strom geregelt. Dieses Verfahren ist aber relativ ungenau, da nur ein sehr kleiner Teil des Signals zur Regelung des Magnetfelds verwendet wird. Außerdem ist es schwierig, den Durchgang des Signals durch die Resonanz exakt zu bestimmen.

[0005] Aus der DT 23 52 315 C2 ist ein Verfahren zur Stabilisierung des Verhältnisses von Messfrequenz zu Magnetfeldstärke bei einem Spinresonanzspektrometer bekannt. Die Spinresonanzen einer in das Magnetfeld des Spinresonanzspektrometers gebrachten Standardsubstanz werden durch HF-Impulse mit einem dichten Frequenzspektrum angeregt. Die in dem Impulsantwortsignal enthaltene Frequenz des Resonanzsignals der Standardsubstanz wird ermittelt und mit einer Referenzfrequenz verglichen. Aus der festgestellten Abweichung wird eine Regelgröße zum Nachstellen der Magnetfeldstärke oder der Messfrequenz gewonnen, wobei die Frequenz des Resonanzsignals der Standardsubstanz durch Fourier-Analyse des Impulsantwortsignals bestimmt wird und die Spinresonanzen der Standardsubstanz nach einer ausreichenden Annäherung des Verhältnisses von Messfrequenz zu Magnetfeldstärke an das gewünschte Verhältnis durch ein Dauerstrichsignal vorgegeben wird, mittels dessen ein geeignetes Resonanzsignal der Standardsubstanz erzeugt wird. Solch eine gepulste Regelung ist allerdings sehr langsam und daher ungenau.

[0006] Aus der EP 0 522 191 A1 ist ein Verfahren zum Kompensieren von zeitvarianten Feldstörungen in Magnet-

feldern von Elektromagneten mit hoher Feldhomogenität bekannt. Insbesondere in Probenräumen von supraleitenden Elektromagneten für Messungen magnetischer Resonanz wird ein Dispersionssignal u_x des Kernsignals einer Vergleichssubstanz aufgenommen und zur Kompensation durch Erzeugen eines von dem Dispersionssignal abhängigen Stroms in einer Feldkorrekturspule des Elektromagneten herangezogen. Das Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich das Absorptionssignal u_y der Vergleichssubstanz aufgenommen wird und dass die Kompensation in Abhängigkeit von der Größe u_x/u_y und/oder $(1/u_y)(du_x/dt)$ vorgenommen wird. Auch dieses Verfahren des Standes der Technik ist zu langsam für eine den Ansprüchen eines Langzeitexperiments angemessene Feldstabilisierung.

[0007] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur schnelleren und genaueren Regelung zu schaffen, d. h. ein Verfahren, durch das der Zeittakt und die Regelempfindlichkeit erhöht wird.

[0008] Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe auf einfache, aber wirkungsvolle Art und Weise dadurch gelöst, dass aus einem zeitlichen Verlauf $s_i(t_i)$ des detektierten und digitalisierten MR-Signals ein zeitlicher Verlauf $\Delta\phi_i(t_i)$ der Phase des MR-Signals bezogen auf eine vorgegebene Referenzphase $\phi_{ref}(t_i)$ eines Referenzsignals $S_{ref}(t_i)$ ermittelt und digitalisiert wird und daraus eine oder mehrere Korrekturbzw. Regelgrößen bestimmt werden.

[0009] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist die Phasenbildung die eigentlich relevante Größe für die Abweichung des Magnetfeldes vom Sollwert. Im Stand der Technik spielen die meisten Messpunkte keine oder nur eine untergeordnete Rolle für die Bestimmung der Magnetfeldabweichung.

[0010] Allerdings sind besonders die Werte eines Free Induction Decay (FID) zu späten Zeitpunkten des FID für die Regelung und Korrektur von Interesse. Beim erfindungsgemäßen Verfahren geht daher vorteilhafterweise nahezu jeder Messpunkt in die Bestimmung der Magnetfeldabweichung und damit in die Regelung ein. Somit ist eine erheblich größere Regelgenauigkeit gewährleistet. Außerdem ist eine schnellere Wiederholbarkeit mit weniger Messpunkten bei gleicher oder verbesserter Regelqualität möglich. Außerdem kann die Regelung mit Mitteln erfolgen, die ohnehin in der MR-Apparatur vorhanden sind. Eine zusätzliche Elektronik zur Regulierung der Frequenz oder des Magnetfelds kann entfallen.

[0011] Die mittlere Steigung der auf die Referenzphase bezogenen Phase des MR-Kontrollsignals wird bei einer besonders bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens mit Hilfe einer Ausgleichsgeraden durch die entsprechende Zeitfunktion $\Delta\phi_i(t_i)$ ermittelt. Durch die Verwendung einer Ausgleichsgeraden kann die Frequenzabweichung in der Vergangenheit geschätzt werden, wobei der Einfluss von Rauschen auf die Schätzung aufgrund der Ausgleichsgeraden unterdrückt wird.

[0012] Eine andere Variante zeichnet sich dadurch aus, dass eine Kurvenkrümmung der Zeitfunktion $\Delta\phi_i(t_i)$ ermittelt und zu einer Trendvorhersage für das wahrscheinliche Verhalten des Systems in Bezug auf Sollwertabweichungen in der unmittelbaren Zukunft verwendet wird. Durch die Ermittlung der Kurvenkrümmung kann die Regelung bzw. Korrektur noch verbessert werden, da durch Extrapolation eine Vorhersage für die Abweichungen vom Idealfall getroffen werden können. Somit erfolgt eine adaptive und genauere Regelung.

[0013] Bei einer Weiterbildung wird die Kurvenkrümmung der Zeitfunktion $\Delta\phi_i(t_i)$ mit Hilfe eines Polynomial-Fitverfahrens höherer Ordnung ermittelt. Mit einem Polynomial-Fitverfahren ist eine besonders genaue Annäherung an

die Zeitfunktion möglich. Eine akkurate Bestimmung der tatsächlichen Frequenz wird daher ermöglicht, was besonders am Ende eines FIDs wichtig ist.

[0014] Eine weitere Verfahrensvariante zeichnet sich dadurch aus, dass die Beiträge der einzelnen Messpunkte der auf die Referenzphase bezogenen Phase $\Delta\phi_i$ an verschiedenen Zeitpunkten t_i zur Korrektur- bzw. Regelgröße abhängig vom Signal-zu-Rausch-Verhältnis gewichtet werden. Eine stärkere Wichtung rauscharmer Signale erhöht die Regelgenauigkeit. Es ist jedoch auch denkbar, in Abhängigkeit der Signalamplitude zu wichten. Das bedeutet, dass Signale mit großer Amplitude stärker und Signale mit kleiner Amplitude weniger stark zur Ermittlung der Regel- bzw. Korrekturgröße herangezogen werden.

[0015] Bei einer weiteren Verfahrensvariante werden HF-Anregungsimpulse mit Pulswinkeln $\alpha \ll 90^\circ$ auf die Substanz im Messvolumen eingestrahlt. Durch diese Vorgehensweise muss kein Gleichgewicht abgewartet werden. Somit können die Regelgrößen schnell ermittelt werden, was hohe Repetitionsraten zur Folge hat. Das Verfahren wird dadurch also beschleunigt.

[0016] Wird die Frequenz des Referenzsignals abweichend von der Sollwert-Frequenz gewählt und diese, vorzugsweise konstante Abweichung bei der Bestimmung der Regel- bzw. Korrekturgröße berücksichtigt, so wird ein Aufsummieren von Restsignalen aus vorherigen Anregungen vermieden.

[0017] Besonders bevorzugt ist es, wenn das detektierte MR-Signal einer digitalen Filterung, vorzugsweise einer Bandpass-Filterung unterzogen wird. Dadurch werden hoch- und niederfrequente Störungen eliminiert und die Regel- bzw. Korrekturgröße kann genauer bestimmt werden.

[0018] Eine Verfahrensvariante zeichnet sich dadurch aus, dass zur Stabilisierung des Magnetfelds im Messvolumen der MR-Apparatur Abweichungen des Magnetfelds von einem Sollwert mittels der Korrektur- bzw. Regelgröße korrigiert bzw. nachgeregelt werden. Somit wird wie im Stand der Technik die physikalisch korrekte Größe geregelt, allerdings mit anderen Korrekturgrößen, die die Regelung vereinfachen. Wenn das Magnetfeld geregelt wird, bleiben die gemessenen Frequenzen nahezu gleich.

[0019] Bei einer besonders bevorzugten Verfahrensvariante werden alle zur Signalgewinnung verwendeten Frequenzen der MR-Apparatur einschließlich der Anregungsfrequenz mittels der Korrektur- bzw. Regelgröße korrigiert bzw. nachgeregelt. In diesem Fall werden die Frequenzen, die zur Signalanregung bzw. zur Detektion verwendet werden, nachgezogen. Dem Magnetfeld wird also quasi freier Lauf gelassen. Der systematische Fehler, den man begeht, indem nicht das Magnetfeld sondern die Frequenzen geregelt werden, ist vernachlässigbar. Da aber das Magnetfeld nicht geregelt werden muss, kann in der MR-Apparatur eine Spule eingespart werden. Da diese Spule nicht betrieben werden muss, wird folglich auch Energie eingespart.

[0020] Bei einer bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Verfahrensschritte mehrfach, vorzugsweise periodisch, wiederholt und wird jeweils eine Frequenzabweichung Δf_i als aktuelle Regelgröße bestimmt. Damit ist es möglich, das Magnetfeld für die Dauer der Wiederholungen zu regeln. Es erfolgt also eine kontinuierliche Regelung des Magnetfelds.

[0021] In einer besonders bevorzugten Variante des Verfahrens wird der zeitliche Verlauf der Frequenzabweichung $\Delta f_i(t_i)$ für alle Messpunkte zu den verschiedenen Zeiten t_i aus $\Delta f(t) = [\Delta\phi_i(t_i) - \Delta\phi_i(0)]/t_i$ bestimmt. Aus diesen Werten kann eine Trendvorhersage für die zukünftigen Frequenzabweichungen getroffen werden und die Regel- bzw. Korrekturgröße entsprechend bestimmt werden.

[0022] Eine bevorzugte Weiterbildung besteht darin, dass die Regelgröße als Mittelwert $\langle \Delta f_i \rangle$ aus den Frequenzabweichungen aller Messpunkte bestimmt wird. Durch die Mittelung der Frequenzabweichungen wird eine relativ genaue und einfach zu verwendende Regelgröße geschaffen. Da diese Regelgröße einfach ermittelt werden kann, kann die Regelung schneller erfolgen.

[0023] In einer Ausführungsform umfasst die im Messvolumen der MR-Apparatur angeordnete Substanz eine Probensubstanz und eine Kontrollsubstanz. Eine geeignete Kontrollsubstanz weist nur wenige dominante Linien auf. Mit diesen scharfen Linien kann eine genaue Regelung erfolgen, was nicht unbedingt der Fall wäre, wenn mit der Probensubstanz geregelt werden müsste, die unter Umständen mehrere nicht klar definierte Frequenzanteile aufweist. Diese Überlagerung von Frequenzanteilen hätte eine große Variation der Frequenzamplituden zur Folge, was einen Rechenfehler bei der Bestimmung der Frequenzen nach sich ziehen könnte. Dies wäre insbesondere beim Vergleich sukzessiver Scans ein Problem. In vielen Fällen bringt aber bereits die Regelung mit der Probensubstanz allein deutliche Vorteile.

[0024] Eine weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass zum Korrigieren von Störungen während der Detektion und Digitalisierung des MR-Signals der Probensubstanz zeitlich synchron mit der Detektion des MR-Signals der Probensubstanz das MR-Signal der Kontrollsubstanz detektiert und digitalisiert wird, dass aus dem zeitlichen Verlauf $s(t)$ des MR-Signals der Kontrollsubstanz ein zeitlicher Verlauf $\Delta\phi(t)$ der Phase des MR-Signals der Kontrollsubstanz bezogen auf die Phase ϕ_{ref} eines vorgegebenen Referenzsignals ermittelt wird, und dass für jeden Digitalisierungspunkt das detektierte MR-Signal der Probensubstanz entsprechend der Phase $\Delta\phi(t)$ unter Berücksichtigung der gyromagnetischen Verhältnisse von Probensubstanz und Kontrollsubstanz nachkorrigiert wird. Da das Kontrollsignal zeitgleich mit dem Probensignal aufgenommen wird, können Frequenzschwankungen innerhalb eines Scans, sowie die Frequenz und Phasenlage korrigiert werden. Die Korrektur erfolgt im Gegensatz zum Stand der Technik also synchron. Ein verzerrtes Signal kann demnach gemessen werden und nachträglich präzise korrigiert werden. Weiterhin kann in jedem Aufnahmepunkt die Phase korrigiert werden, insbesondere ehe die nächste Anregung erfolgt.

[0025] In einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der zeitliche Verlauf $\Delta\phi(t)$ der auf die Phase des Referenzsignals bezogenen Phase des detektierten MR-Signals der Kontrollsubstanz vor der Nachkorrektur des MR-Signals der Probensubstanz einer Glättungsprozedur unterzogen. Dadurch erfolgt eine Rauschbereinigung und folglich eine verbesserte Qualität des Regel- bzw. Korrekturvorgangs.

[0026] Bei einer weiteren Variante wird zum Korrigieren von Störungen während einer Sequenz zur Aufnahme der MR-Signale, während der magnetische Felder systematisch variiert werden, und wobei sich während der MR-Aufnahmesequenz zu aufeinander folgenden Zeitpunkten bestimmte Magnetfeldkonfigurationen im Messvolumen wiederholen, während des Auftretens einer oder mehrerer dieser Magnetfeldkonfigurationen im Messvolumen das MR-Signal der Kontrollsubstanz angeregt und detektiert. Die Kontrollsignale werden zu Zeitpunkten erzeugt, in denen sich das Magnetfeld der MR-Apparatur gewollt bzw. gezielt immer in gleicher Weise verändert. Während im Stand der Technik bei sich gezielt ändernden Magnetfeldern eine Abschaltung der Regelung des Magnetfelds (Lock) bzw. der Frequenz erfolgen muss, ist nun auch eine Regelung der

Frequenz bei veränderlichen Magnetfeldern möglich.

[0027] Insbesondere bei Messsequenzen von in-vivo-Messungen, wo keine Kontrollsubstanz zur Verfügung steht, kann in Zeitabschnitten, die sich gleichartig wiederholen, vorzugsweise zwischen der Anregung eines Messsignals der Probe und dessen erster Phasenkodierung, dieses Signal gemessen und entsprechend der Erfindung ausgewertet werden um die Frequenz des entsprechend der Messsequenz nachfolgenden Nutzsignals (in der Regel ein Echo) und/oder die Drift des Magnetfelds B_0 zu korrigieren. Ggf. kann auch an ausgewählten Stellen der Sequenz jeweils ein Kontrollsignal zusätzlich erzeugt werden.

[0028] Bei einer Weiterbildung des Verfahrens wird die MR-Aufnahmesequenz nach aufeinander folgenden Scanbereichen mit vergleichbaren Eigenschaften sortiert, und werden zur Korrektur von Störungen einander entsprechende Signalpunkte aufeinander folgender Scanbereiche miteinander verglichen. Hierbei werden nur gleichartige Signale miteinander verglichen. Dies kann nur geschehen, wenn sich die Gesamtsequenz wiederholt.

[0029] Bei einer alternativen Weiterbildung werden die vorgegebenen Referenzsignale aus einem Referenzscan, insbesondere aus dem ersten Scan der MR-Aufnahmesequenz entnommen. Anstatt die Referenzsignale theoretisch zu erzeugen, was bei der systematischen Variation der Magnetfelder nahezu unmöglich ist, werden die Bezugspunkte für die Korrektur von Störungen in einem Referenzscan erzeugt.

[0030] Bevorzugterweise wird der Referenzscan so gewählt wird, dass die Phasenänderung gegenüber vorhergehenden und nachfolgenden Scans möglichst gering ist. Wenn die Phasenänderung gegenüber benachbarten Scans relativ gering ist, ist anzunehmen, dass die Phasenänderung im Zeitpunkt, zu dem der Referenzscan aufgenommen wird, auch gering ist. Der Referenzscan wird dadurch zu einem günstigen Zeitpunkt gewählt, so dass eine genaue Regelung erfolgen kann.

[0031] Besonders zweckmäßig ist es, wenn die Referenzsignale für eine bestimmte MR-Aufnahmesequenz vorgegeben und fest einprogrammiert werden. Oft wiederholen sich Aufnahmesequenzen. Wenn ein guter Referenzscan einmal gefunden wurde, so kann er für viele Aufnahmesequenzen in der Zukunft verwendet werden, wenn er einprogrammiert wird und damit für zukünftige Aufnahmesequenzen zur Verfügung steht.

[0032] In einer weiteren Verfahrensvariante werden erfindungsgemäß mehrere MR-Signale aufgenommen und miteinander kombiniert, insbesondere akkumuliert, und wird die Nachkorrektur der einzelnen MR-Signale vor dem Kombinieren, insbesondere vor dem Akkumulieren durchgeführt. Die Scans werden also aufgenommen, der Frequenzfehler ermittelt und entsprechend dem ermittelten Frequenzfehler korrigiert. Erst nach dieser Korrektur werden die Scans weiterverarbeitet. Addiert man z. B. die FIDs nach der Korrektur, so erhält man unter den FIDs eine größere Fläche als bei einer Addition unkorrigierter FIDs.

[0033] Dabei ist die Fläche unter einem FID ein Maß für die Güte der Korrektur. Dieses Verfahren kommt insbesondere zur Anwendung, wenn eine Echtzeitkorrektur nicht möglich ist, da z. B. in die Elektronik der MR-Apparatur nicht eingegriffen werden kann. Es ist auch denkbar, die Summe aller korrigierten FIDs bzw. Scans noch einmal als Referenzscan zu benutzen. Dies hat den Vorteil, dass die Korrektur noch weiter verbessert wird, da ein besseres Signal-Rausch-Verhältnis erzielt wird. Außerdem kann anschließend an die Frequenzkorrektur der FIDs noch eine Phasenkorrektur durchgeführt werden. Auch hier kann die Summe der frequenzkorrigierten FIDs als Referenz genom-

men werden.

[0034] Von Vorteil ist es, wenn aus dem zeitlichen Verlauf $s_i(t_i)$ der MR-Signale jeweils der zeitliche Verlauf der entsprechenden Phasensignale $\phi_i(t_i)$ bestimmt wird, wenn ein solches Phasensignal oder ein Mittelwert aus mehreren solcher Phasensignale als Referenz-Phasensignal $\phi_{\text{ref}}(t_i)$ ausgewählt wird, und wenn die MR-Signale mittels dieses Referenz-Phasensignals $\phi_{\text{ref}}(t_i)$ phasenkoriert werden. Eine Phasenkorrektur erfolgt zusätzlich zur Frequenzkorrektur und jeder Punkt kann separat korrigiert werden.

[0035] Wenn das Referenz-Phasensignal $\phi_{\text{ref}}(t_i)$ von einem MR-Signal gewonnen wird, welches sich von den ihm benachbarten MR-Signalen möglichst wenig unterscheidet, wird ein besonders gutes Referenzsignal ausgewählt, da davon auszugehen ist, dass das Referenzsignal in einem Messbereich ausgewählt wird, in dem sich das Magnetfeld bzw. die Frequenz nur geringfügig ändert.

[0036] Vorzugsweise wird die Phasenkorrektur von MR-Signalen in einem Verfahren der MR-Spektroskopie ohne Magnetfeld-Locking, insbesondere in einem Verfahren der in-vivo-Spektroskopie angewendet. Die Korrektur erfolgt dabei, ohne dass ein Eingriff in die MR-Apparatur notwendig ist.

[0037] In einem weiteren Aspekt der Erfindung wird die eingangs genannte Aufgabe durch eine MR-Apparatur zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, mit einem Magnetsystem zur Erzeugung eines Magnetfeldes in einem Messvolumen, mit Mitteln zur Einstrahlung eines HF-Anregungsimpulses auf eine Kontroll- bzw. Probensubstanz im Messvolumen und Erzeugung eines oder mehrerer MR-Signale, mit Mitteln zur phasempfindlichen Detektion des MR-Signals bzw. der MR-Signale, sowie mit einer Regelungsvorrichtung zum Stabilisieren des Magnetfelds, die Mittel zum Erfassen des erzeugten MR-Signals bzw. der MR-Signale und Ableiten einer Korrektur- bzw. Regelgröße für eine Korrektur von Abweichungen des Magnetfelds oder der Frequenz von einem vorgegebenen Sollwert umfasst, gelöst, bei der die Regelungsvorrichtung eine Rechneinheit aufweist, die aus dem zeitlichen Verlauf $s_i(t_i)$ eines detektierten MR-Signals einen zeitlichen Verlauf $\Delta\phi_i(t_i)$ der Phase des MR-Signals bezogen auf die Phase $\phi_{\text{ref}}(t_i)$ eines vorgegebenen Referenzsignals $S_{\text{ref}}(t_i)$ ermitteln und digitalisieren und daraus eine oder mehrere Korrektur- bzw. Regelgrößen bestimmen kann.

[0038] Mit einer solchen MR-Apparatur ist eine Regelung bzw. Korrektur des Magnetfelds bzw. der Frequenzen in Echtzeit möglich. Folglich müssen Daten nicht bis zur Korrektur zwischengespeichert werden, was Speicherplatz einspart und eine Zeitersparnis mit sich bringt, da nicht erst nachträglich, nach der Messung eine Korrektur erfolgen muss.

[0039] Bei einer bevorzugten Ausführungsform kann die Rechneinheit zeitlich synchron mit der Detektion des MR-Signals der Probensubstanz die Detektion des MR-Signals der Kontrollsubstanz sowie eine Digitalisierung der aufgenommenen Signale veranlassen, und für jeden Digitalisierungspunkt das detektierte MR-Signal der Probensubstanz entsprechend der Phase $\Delta\phi_i(t_i)$ unter Berücksichtigung der gyromagnetischen Verhältnisse von Probensubstanz und Kontrollsubstanz nachkorrigieren. Damit kann eine nachträgliche Korrektur eines aufgenommenen MR-Signals einer Probensubstanz mittels Korrekturgrößen, die aus einem synchron dazu aufgenommenen MR-Signal einer Kontrollsubstanz ermittelt werden, erfolgen.

[0040] Bei einer vorteilhaften Weiterbildung kann die Rechneinheit aus dem zeitlichen Verlauf $s_i(t_i)$ der MR-Signale jeweils den zeitlichen Verlauf der entsprechenden Phasensignale $\phi_i(t_i)$ bestimmen, ein solches Phasensignal

oder einen Mittelwert aus mehreren solcher Phasensignale als Referenz-Phasensignal $\Phi_{\text{ref}}(t_i)$ auswählen und die MR-Signale vor einem Akkumulieren derselben mittels dieses Referenz-Phasensignals $\Phi_{\text{ref}}(t_i)$ phasenkorrigieren. Eine nachträgliche Korrektur der Phase, zusätzlich zur Frequenz, ist dadurch möglich.

[0041] Eine Weiterbildung bezieht sich auf eine Rechereinheit zur Verwendung in der vorgenannten MR-Apparatur. Mit einer solchen Rechereinheit wird eine Echtzeitverarbeitung (real-time processing) der Daten ermöglicht.

[0042] Weitere Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der Zeichnung. Ebenso können die vorstehend genannten und die noch weiter ausgeführten Merkmale erfindungsgemäß jeweils einzeln für sich oder zu mehreren in beliebigen Kombinationen Verwendung finden. Die gezeigten und beschriebenen Ausführungsformen sind nicht als abschließende Aufzählung zu verstehen, sondern haben vielmehr beispielhaften Charakter für die Schilderung der Erfindung.

[0043] Die Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. Es zeigen:

[0044] Fig. 1 eine Darstellung der Änderung des mit dem erfindungsgemäßen Verfahren geregelten Magnetfelds einer MR-Apparatur;

[0045] Fig. 2 die ersten 30 Minuten der Magnetfeldänderung der Fig. 1;

[0046] Fig. 3a eine Darstellung des zeitlichen Verlaufs des Realteils eines realen MR-Signals;

[0047] Fig. 3b eine Darstellung des zeitlichen Verlaufs des Imaginärteils eines realen MR-Signals;

[0048] Fig. 4 eine Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Phasendifferenz eines gemessenen MR-Signals bezogen auf die Phase eines Referenzsignals;

[0049] Fig. 5 eine Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Frequenzabweichung, die aus der Phasendifferenz der Fig. 4 ermittelt wurde;

[0050] Fig. 6 eine zeitliche Variation des Magnetfelds B_0 eines supraleitenden Magneten, die während der Aufnahmezeit von 500 aufeinanderfolgenden FIDs aufgenommen wurde;

[0051] Fig. 7 eine Darstellung des zeitlichen Verlaufs der Phasendifferenz eines gemessenen MR-Signals bezogen auf die Phase eines Referenzsignals;

[0052] Fig. 8a die Summe von 500 unkorrigierten FIDs; und

[0053] Fig. 8b die Summe von 500 frequenzkorrigierten FIDs.

[0054] Fig. 1 zeigt die durch die Veränderung des Magnetfelds B_0 eines an sich sehr stabilen supraleitenden Magneten verursachten Frequenzänderungen einer Kontrollsubstanz über eine Zeitspanne von 8 Stunden. Die Frequenz wurde punktweise aus FID's mit dem erfindungsgemäßen Verfahren ermittelt. Die maximale Frequenzabweichung durch die Magnetdrift über diesen Zeitraum war 4 Hz, während die Bestimmung der Frequenz im Bereich des Rauschens liegt, d. h. bei etwa 0,05 Hz, was die Qualität des Verfahrens belegt. In einer Anwendung des Verfahrens kann die derart mit einer Kontrollsubstanz ermittelte Frequenzverschiebung nachträglich zur Frequenzkorrektur der Signale einer Probensubstanz verwendet werden. In einer weiteren Ausführungsform des Verfahrens werden zu jedem Detektionszeitpunkt entweder das Magnetfeld B_0 oder alle Frequenzen des Systems online auf einen konstanten Wert im Rahmen einer Abweichung von etwa 0,05 Hz geregelt.

[0055] Fig. 2 zeigt einen Ausschnitt für aus der Fig. 1, nämlich die ersten 30 Minuten der Magnetfeldveränderung. In den ersten 30 Minuten beträgt die Änderung weniger als

2 Hz, was ein ausgezeichnetes Ergebnis ist. Durch die Regelung des Magnetfelds derart, dass nur geringe Änderungen des Magnetfelds über einen großen Zeitraum eintreten, wird die Durchführung von Langzeitexperimenten erheblich vereinfacht.

[0056] Fig. 3a zeigt den digitalisierten Realteil und Fig. 3b den zugehörigen Imaginärteil eines MR-Signals in Abhängigkeit von der Zeit t . Das gemessene Signal ist nur scheinbar in Resonanz, was durch Fig. 4 verdeutlicht wird.

[0057] In der Fig. 4 ist der zeitliche Verlauf 1 der Phasendifferenz $\Delta\phi$ des gemessenen MR-Signals der Fig. 3a und Fig. 3b bezogen auf die Phase eines Referenzsignals dargestellt. Dabei wurde als Referenzsignal ein ideales Signal gewählt. Nimmt man an, dass am Ausgang eines Quadraturdetektors einer Magnetresonanz (MR)-Apparatur ein MR-Signal unendlich scharf und für lange Zeit ansteht und wird das Signal in Resonanz gemessen, so weist der zeitliche Verlauf der Phase des MR-Signals eine konstante Phase mit dem Wert 0 auf. Ein solches Signal stellt ein ideales Referenzsignal dar. Das Referenzsignal kann entweder gemessen oder vorberechnet werden. Tritt eine Feldverschiebung des Magnetfeldes in der MR-Apparatur auf, dann erfolgt auch eine Frequenzverschiebung und das gemessene Signal ist nicht länger in Resonanz. In diesem Fall verändert sich die Phase des gemessenen Signals mit der Zeit relativ zu dem Referenzsignal mit der Phase 0. Diese Phasendifferenz $\Delta\phi$ ist in der Fig. 4 für jeden Messpunkt aufgetragen.

[0058] Die Variation der Phasendifferenzwerte $\Delta\phi$ ist für kleine t gering, während sie für große Werte t zunimmt. Das rauschartige Verhalten 2 der Phasendifferenz $\Delta\phi$ für große Werte t rührt daher, dass diese Phasendifferenzen für späte Zeitpunkte eines FIDs ermittelt werden. Die Amplitude eines FIDs nimmt mit der Zeit ab. Nimmt man ein konstantes Rauschen an, so vergrößert sich das Signal-Rausch-Verhältnis mit abnehmender Amplitude. Eine Näherung für die Änderung der Phasendifferenz mit der Zeit erhält man z. B., indem man den zeitlichen Verlauf von $\Delta\phi$ durch eine Ausgleichsgerade 3 annähert. Die Steigung dieser Geraden liefert ein Maß für die Frequenzabweichung in der Vergangenheit. Daraus kann eine Regel- bzw. Korrekturgröße ermittelt werden.

[0059] Außerdem kann man die Kurvenkrümmung 4 der Zeitfunktion $\Delta\phi(t)$ durch ein Polynomial-Fitverfahren ermitteln. Aus der ermittelten Kurvenkrümmung kann eine Vorhersage für das wahrscheinliche Verhalten der Frequenz in der unmittelbaren Zukunft getroffen werden. Es ist auch möglich, anstatt eines Referenzsignals mit der Phase 0 ein anderes Referenzsignal zu wählen. In einem solchen Fall erhält man eine andere Lage und Darstellung der Phasendifferenz $\Delta\phi(t)$.

[0060] Die punktweise bestimmte Phase eines FID's einer Kontrollsubstanz kann auch zur punktuweisen Phasenkorrektur einer simultan mit der Kontrollsubstanz gemessenen Probensubstanz verwendet werden (neben der Verwendung für die integrale Bestimmung einer Frequenzabweichung).

[0061] Fig. 5 zeigt eine Darstellung der Frequenzabweichung Δf 10 (ermittelt aus $\Delta\phi(t)/t$ von Fig. 4), die über das gyromagnetische Verhältnis proportional zur Magnetfeldabweichung ΔB ist, für jeden Messpunkt. Diese Größe erhält man, indem man die Werte $\Delta\phi$ der Fig. 4 für jeden Messpunkt durch den Messzeitpunkt t des jeweiligen Messpunkts dividiert. Für den idealisierten Fall der Annäherung von $\Delta\phi(t)$ durch eine Ausgleichsgerade 3 ist dies gleichbedeutend mit der Steigung der Ausgleichsgeraden 3. Es ergibt sich damit ein Wert der Frequenzabweichung Δf . Durch die Frequenzabweichungen 10 kann ebenfalls eine Ausgleichsgerade 11 gezogen werden oder eine sonstige Glättungsfunktion angewandt werden, falls aus Fig. 4 nicht schon eine

konstante Steigung ermittelt wurde, um den oder die Korrekturwerte und damit die Regelabweichung zu ermitteln. Die Korrekturwerte werden einem Netzgerät übermittelt, das den Strom der Lockspule regelt, die das Magnetfeld an den Sollwert anpasst. Mit den ermittelten Regelabweichungen kann der nächste Wert der Magnetfeldabweichung geschätzt werden und eine genaue Regelung erfolgen.

[0062] Weiterhin kann ein Kontrollsignal einer Kontrollsubstanz synchron mit dem Probensignal einer Probensubstanz aufgenommen werden. Eine Tabelle mit Phasenkorrekturwerten für jeden Datenpunkt des Probensignals kann berechnet werden und die Phasenkorrekturwerte können gemäß dem gyromagnetischen Verhältnis von Kontrollsignal zu Probensignal skaliert werden. Die Korrektur erfolgt also nachträglich, nach Aufnahme des Kontroll- und Probensignals. Eine Korrektur sowohl der Frequenz als auch der Phase ist möglich.

[0063] Fig. 6 zeigt eine zeitliche Variation des Magnetfelds B_0 eines supraleitenden Magneten, die während der Aufnahmezeit von 500 aufeinanderfolgenden FIDs einer Probensubstanz aufgenommen wurde. Im vorliegenden Fall ist die maximale Feldabweichung etwa 1 Hz. Dabei wird der erste aufgenommene FID als vorläufiges Referenzsignal verwendet. Für jeden nachfolgenden FID wird eine Phasendifferenz $\Delta\phi(t)$ berechnet. Sodann wird ein Referenz-FID aus einem Bereich geringer Frequenz- und damit Magnetfeldänderungen gewählt, z. B. aus dem Bereich A der Fig. 6, und erneut eine Phasendifferenz mit diesem Referenz-FID berechnet. Aufgrund dieser berechneten Phasendifferenzen werden Korrekturgrößen ermittelt und die Signale korrigiert, ehe sie weiterverarbeitet werden.

[0064] Gemäß Fig. 7 können die Korrekturgrößen wiederum durch Legen einer Ausgleichsgeraden 15 ermittelt werden, um möglichst genaue und nicht mit Rauschen behaftete Korrekturwerte zu erhalten.

[0065] Fig. 8a und 8b zeigen die Auswirkung dieser Phasenkorrektur vor der Weiterverarbeitung der Signale. Fig. 8a zeigt die Summe der digitalisierten Realteile von 500 aufgenommenen FIDs. Diese FIDs wurden vor der Akkumulation nicht korrigiert. Die Folge ist eine relativ kleine Fläche 20, die durch die FIDs beschrieben wird. Im Vergleich dazu zeigt die Fig. 8b die Summe derselben digitalisierten Realteile der FIDs. Allerdings wurden die FIDs dieses mal vor der Akkumulation frequenzkorrigiert. Die von der Summe der FIDs beschriebene Fläche 21 ist größer als die der Fig. 8a. Dies ist insbesondere daraus ersichtlich, dass selbst für große Werte von t noch kleine Amplituden sichtbar sind, die in der Fig. 8a nicht mehr präsent sind. Die Größe der Fläche 20, 21 ist ein Maß für die Güte der Korrektur, d. h. je größer die Fläche, desto besser die Korrektur.

[0066] In einem weiteren Iterationsschritt kann nun der korrigierte, akkumulierte FID von Fig. 8b seinerseits verwendet werden, die Phase der bereits 500 frequenzkorrigierten FID's zusätzlich punktweise zu korrigieren, was sich notwendigerweise in einer weiteren Vergrößerung der Fläche des nun erneut akkumulierten FID's niederschlägt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Korrigieren von Störeinflüssen auf die durch einen oder mehrere HF(= Hochfrequenz)-Anregungspulse angeregten MR(= Magnetresonanz)-Signale einer im Messvolumen einer MR-Apparatur angeordneten Substanz, bei dem ein HF-Anregungsimpuls auf die Substanz eingestrahlt und ein damit erzeugtes zeitabhängiges MR-Signal phasenempfindlich detektiert und digitalisiert wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus einem zeitlichen Verlauf $s_i(t_i)$ des

detektierten und digitalisierten MR-Signals ein zeitlicher Verlauf (1) $\Delta\phi_i(t_i)$ der Phase des MR-Signals bezogen auf eine vorgegebene Referenzphase $\phi_{ref}(t_i)$ eines Referenzsignals $S_{ref}(t_i)$ ermittelt und digitalisiert wird und daraus eine oder mehrere Korrektur- bzw. Regelgrößen bestimmt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die mittlere Steigung der auf die Referenzphase bezogenen Phase des MR-Signals mit Hilfe einer Ausgleichsgeraden (3) durch die entsprechende Zeitfunktion $\Delta\phi_i(t_i)$ ermittelt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine Kurvenkrümmung (4) der Zeitfunktion $\Delta\phi_i(t_i)$ ermittelt und zu einer Trendvorhersage für das wahrscheinliche Verhalten des Systems in Bezug auf Sollwertabweichungen in der unmittelbaren Zukunft verwendet wird.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Kurvenkrümmung (4) der Zeitfunktion $\Delta\phi_i(t_i)$ mit Hilfe eines Polynomial-Fitverfahrens höherer Ordnung ermittelt wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Beiträge der einzelnen Messpunkte der auf die Referenzphase bezogenen Phase $\Delta\phi_i$ an verschiedenen Zeitpunkten t_i zur Korrektur- bzw. Regelgröße abhängig vom Signalzurausch-Verhältnis gewichtet werden.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass HF-Anregungsimpulse mit Pulswinkeln $\alpha \ll 90^\circ$ auf die Substanz im Messvolumen eingestrahlt werden.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Frequenz des Referenzsignals abweichend von einer Sollwert-Frequenz gewählt und diese, vorzugsweise konstante Abweichung bei Bestimmung der Korrektur- bzw. Regelgröße berücksichtigt wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das detektierte MR-Signal einer digitalen Filterung, vorzugsweise einer Bandpass-Filterung unterzogen wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Stabilisierung des Magnetfelds im Messvolumen der MR-Apparatur Abweichungen des Magnetfelds von einem Sollwert mittels der Korrektur- bzw. Regelgröße korrigiert bzw. nachgeregelt werden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass alle zur Signalgewinnung verwendeten Frequenzen der MR-Apparatur einschließlich der Anregungsfrequenz mittels der Korrektur- bzw. Regelgröße korrigiert bzw. nachgeregelt werden.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Verfahrensschritte mehrfach, vorzugsweise periodisch, wiederholt werden und jeweils eine Frequenzabweichung $\Delta f_i(10)$ als aktuelle Regelgröße bestimmt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der zeitliche Verlauf der Frequenzabweichung $\Delta f_i(t_i)$ (10) für alle Messpunkte zu den verschiedenen Zeiten t_i bestimmt wird aus $\Delta f_i(t_i) = [\Delta\phi_i(t_i) - \Delta\phi_i(0)]/t_i$.

13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelgröße als Mittelwert $\langle \Delta f_i \rangle$ aus den Frequenzabweichungen aller Messpunkte bestimmt wird.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-

sprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die im Messvolumen der MR-Apparatur angeordnete Substanz eine Probensubstanz und eine Kontrollsubstanz umfasst.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass zum Korrigieren von Störungen während der Detektion und Digitalisierung des MR-Signals der Probensubstanz zeitlich synchron mit der Detektion des MR-Signals der Kontrollsubstanz das MR-Signal der Kontrollsubstanz detektiert und digitalisiert wird, dass aus dem zeitlichen Verlauf $s(t)$ des MR-Signals der Kontrollsubstanz ein zeitlicher Verlauf $(1) \Delta\phi(t)$ der Phase des MR-Signals der Kontrollsubstanz bezogen auf die Phase ϕ_{ref} eines vorgegebenen Referenzsignals ermittelt wird, und dass für jeden Digitalisierungspunkt das detektierte MR-Signal der Probensubstanz entsprechend der Phase $\Delta\phi(t)$ unter Berücksichtigung der gyromagnetischen Verhältnisse von Probensubstanz und Kontrollsubstanz nachkorrigiert wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass der zeitliche Verlauf $(1) \Delta\phi(t)$ der auf die Phase des Referenzsignals bezogenen Phase des detektierten MR-Signals der Kontrollsubstanz vor der Nachkorrektur des MR-Signals der Probensubstanz einer Glättungsprozedur unterzogen wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass zum Korrigieren von Störungen während einer Sequenz zur Aufnahme der MR-Signale, während der magnetische Felder systematisch variiert werden, und wobei sich während der MR-Aufnahmesequenz zu aufeinander folgenden Zeitpunkten bestimmte Magnetfeldkonfigurationen im Messvolumen wiederholen, während des Auftretens einer oder mehrerer dieser Magnetfeldkonfigurationen im Messvolumen das MR-Signal der Kontrollsubstanz angeregt und detektiert wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass zum Korrigieren von Störungen während einer Sequenz zur Aufnahme der MR-Signale insbesondere bei in-vivo-Experimenten, während der magnetische Felder systematisch variiert werden, und wobei sich während der MR-Aufnahmesequenz in gleichartigen, aufeinander folgenden Zeitpunkten bestimmte Magnetfeldkonfigurationen im Messvolumen wiederholen, während des Auftretens einer oder mehrerer dieser Magnetfeldkonfigurationen im Messvolumen das MR-Signal der Substanz detektiert wird.

19. Verfahren nach Anspruch 17 oder 18, dadurch gekennzeichnet, dass die MR-Aufnahmesequenz nach aufeinander folgenden Scanbereichen mit vergleichbaren Eigenschaften sortiert wird, und dass zur Korrektur von Störungen einander entsprechende Signale aufeinander folgender Scanbereiche miteinander verglichen werden.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die vorgegebenen Referenzsignale aus einem Referenzscan, insbesondere aus dem ersten Scan der MR-Aufnahmesequenz entnommen werden.

21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass der Referenzscan so gewählt wird, dass die Phasenänderung gegenüber vorhergehenden und nachfolgenden Scans möglichst gering ist.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 17 bis 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Referenzsignale für eine bestimmte MR-Aufnahmesequenz vorgegeben und fest einprogrammiert werden.

23. Verfahren nach einem der vorhergehenden An-

sprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nacheinander mehrere MR-Signale aufgenommen und miteinander kombiniert, insbesondere akkumuliert werden, und dass die Nachkorrektur der einzelnen MR-Signale vor dem Kombinieren, insbesondere vor dem Akkumulieren durchgeführt wird.

24. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem zeitlichen Verlauf $s_i(t_i)$ der MR-Signale jeweils der zeitliche Verlauf der entsprechenden Phasensignale $\phi_i(t_i)$ bestimmt wird, dass ein solches Phasensignal oder ein Mittelwert aus mehreren solcher Phasensignale als Referenz-Phasensignal $\phi_{ref}(t_i)$ ausgewählt wird, und dass die MR-Signale mittels dieses Referenz-Phasensignals $\phi_{ref}(t_i)$ phasenkorrigiert werden.

25. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Referenz-Phasensignal $\phi_{ref}(t_i)$ von einem MR-Signal gewonnen wird, welches sich von den ihm benachbarten MR-Signalen möglichst wenig unterscheidet.

26. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Phasenkorrektur von MR-Signalen in einem Verfahren der MR-Spektroskopie ohne Magnetfeld-Locking, insbesondere in einem Verfahren der in-vivo-Spektroskopie angewendet wird.

27. MR-Apparatur zur Durchführung des Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, mit einem Magnetsystem zur Erzeugung eines Magnetfeldes in einem Messvolumen, mit Mitteln zur Einstrahlung eines HF-Anregungsimpulses auf eine Kontroll- bzw. Probensubstanz im Messvolumen und Erzeugung eines oder mehrerer MR-Signale, mit Mitteln zur phaseneempfindlichen Detektion des MR-Signals bzw. der MR-Signale, sowie mit einer Regelvorrichtung zum Stabilisieren des Magnetfelds, die Mittel zum Erfassen des erzeugten MR-Signals bzw. der MR-Signale und Ableiten einer Korrektur- bzw. Regelgröße für eine Korrektur von Abweichungen des Magnetfelds oder der Frequenz von einem vorgegebenen Sollwert umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass die Regelvorrichtung eine Rechneinheit aufweist, die aus dem zeitlichen Verlauf $s_i(t_i)$ eines detektierten MR-Signals einen zeitlichen Verlauf $(1) \Delta\phi_i(t_i)$ der Phase des MR-Signals bezogen auf die Phase $\phi_{ref}(t_i)$ eines vorgegebenen Referenzsignals $S_{ref}(t_i)$ ermitteln und digitalisieren und daraus eine oder mehrere Korrektur- bzw. Regelgrößen bestimmen kann.

28. MR-Apparatur nach Anspruch 27 zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Rechneinheit zeitlich synchron mit der Detektion des MR-Signals der Probensubstanz die Detektion des MR-Signals der Kontrollsubstanz sowie eine Digitalisierung der aufgenommenen Signale veranlassen, und für jeden Digitalisierungspunkt das detektierte MR-Signal der Probensubstanz entsprechend der Phase $\Delta\phi_i(t_i)$ unter Berücksichtigung der gyromagnetischen Verhältnisse von Probensubstanz und Kontrollsubstanz nachkorrigieren kann.

29. MR-Apparatur nach Anspruch 27 oder 28 zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 24 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Rechneinheit aus dem zeitlichen Verlauf $s_i(t_i)$ der MR-Signale jeweils den zeitlichen Verlauf der entsprechenden Phasensignale $\phi_i(t_i)$ bestimmen, ein solches Phasensignal oder einen Mittelwert aus mehreren solcher Phasensignale als Referenz-Phasensignal $\phi_{ref}(t_i)$ aus-

wählen und die MR-Signale vor einem Akkumulieren derselben mittels dieses Referenz-Phasensignals $\phi_{\text{ref}}(t_i)$ phasenkorrigieren kann.

30. Rechneinheit zur Verwendung der MR-Apparatur nach einem der Ansprüche 27 bis 29.

5

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

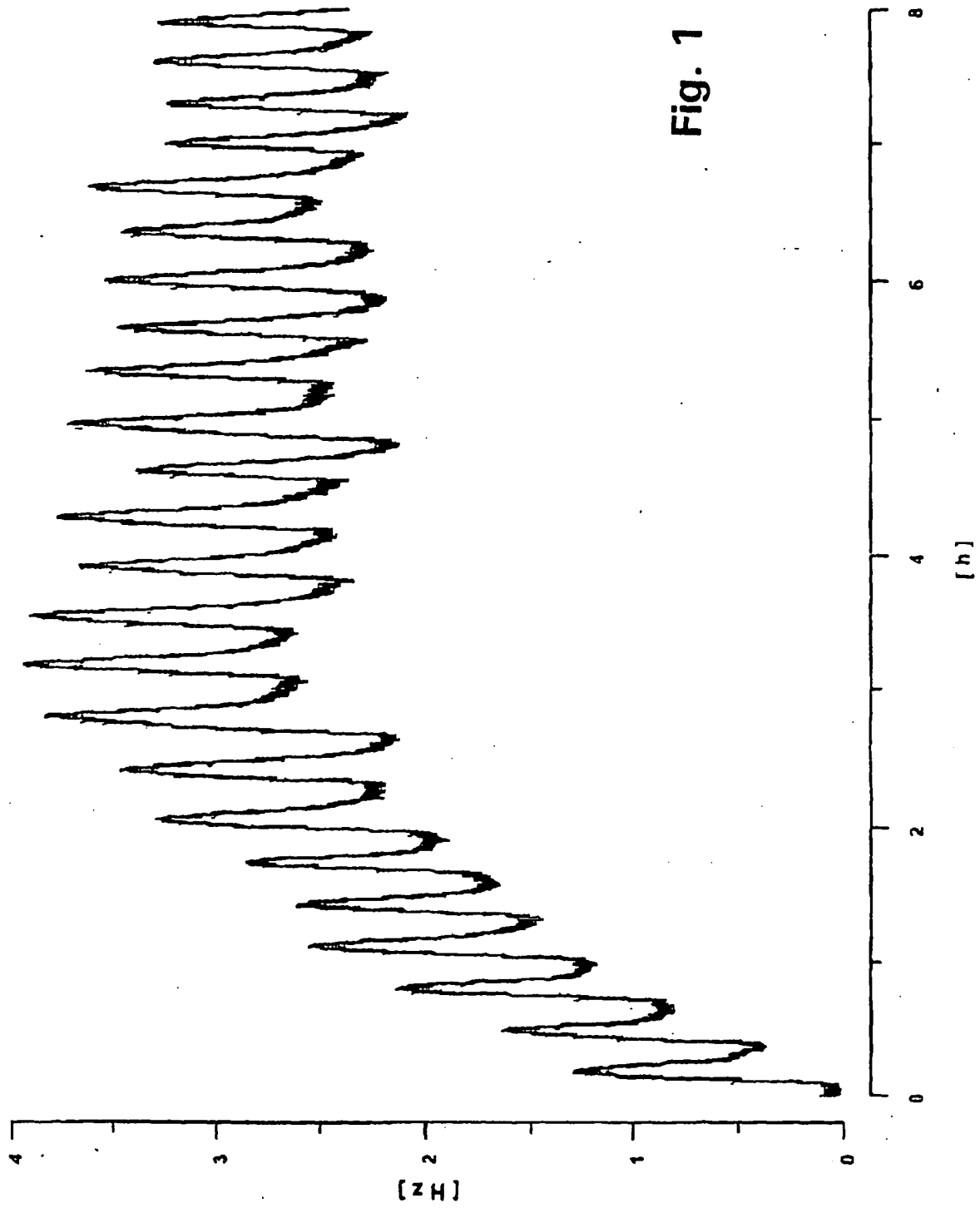
45

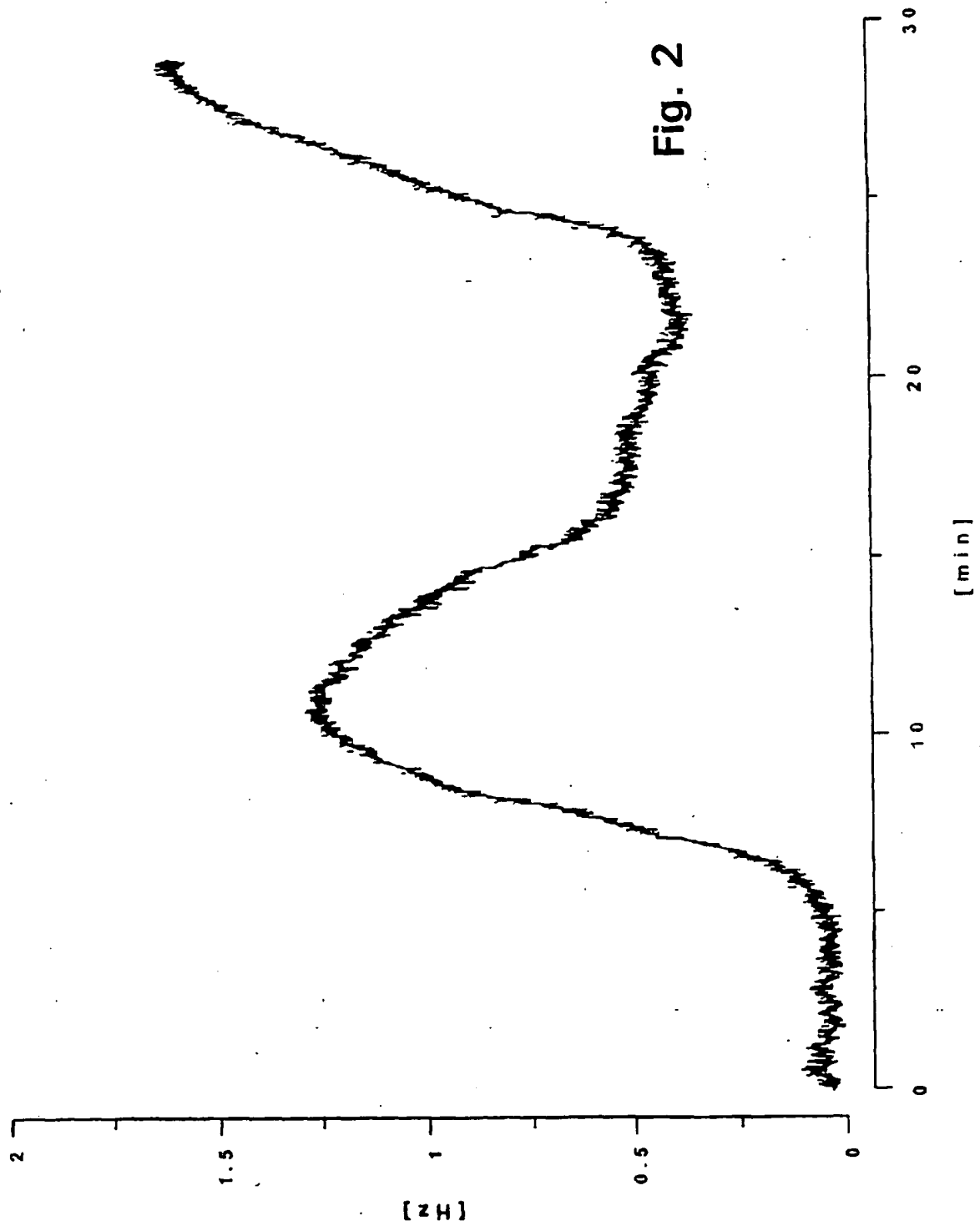
50

55

60

65





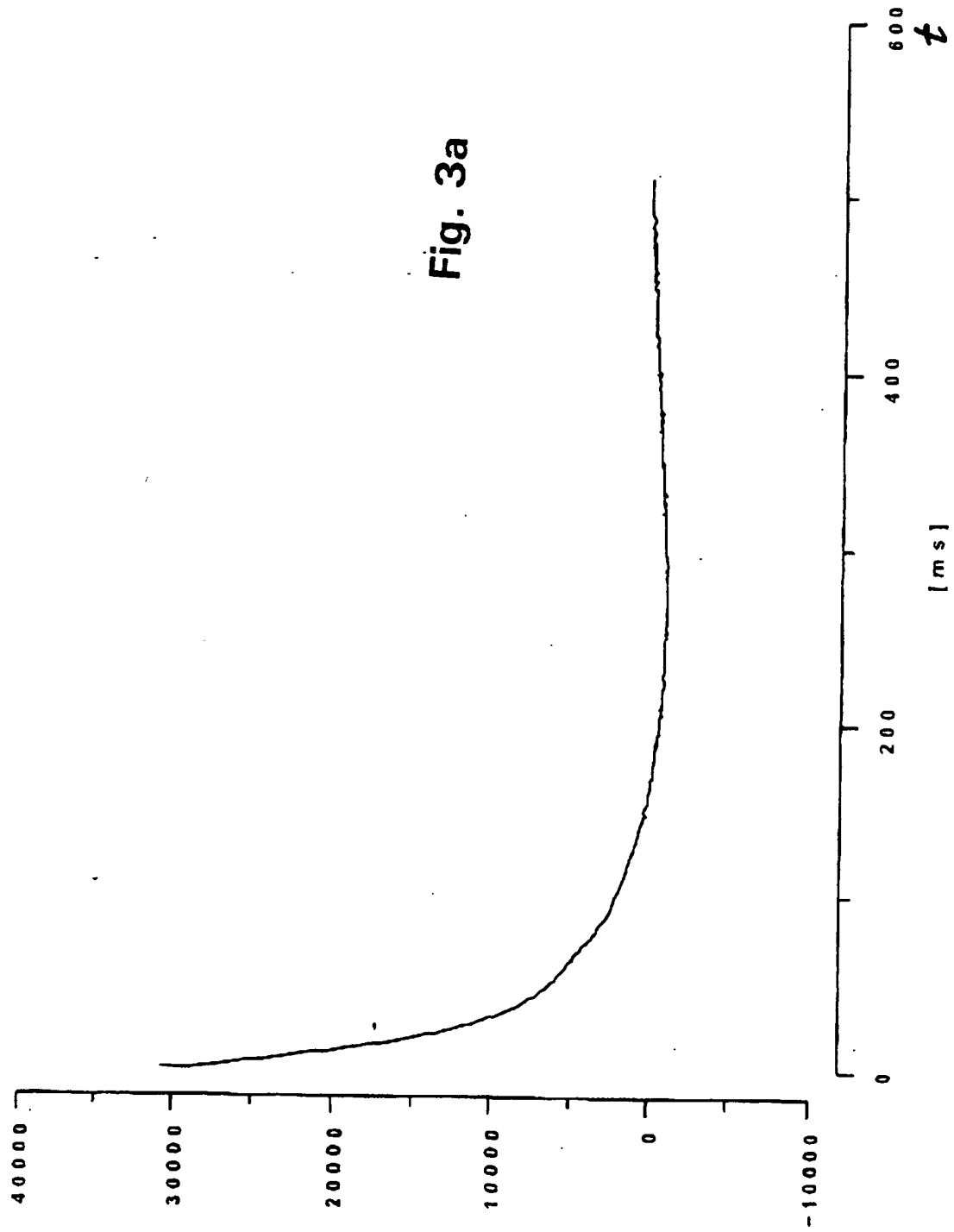
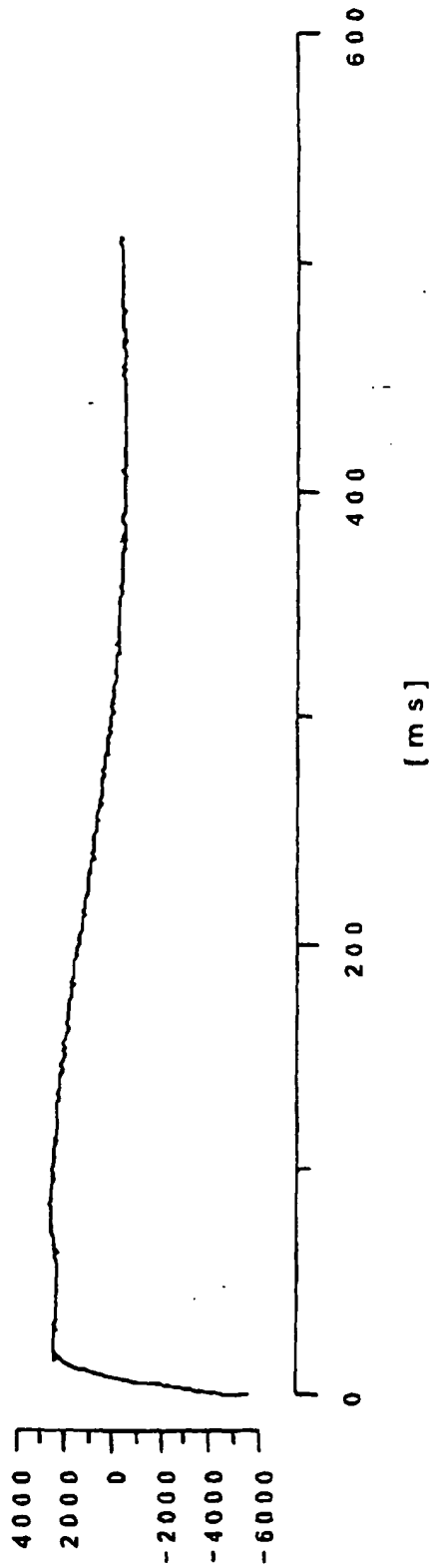
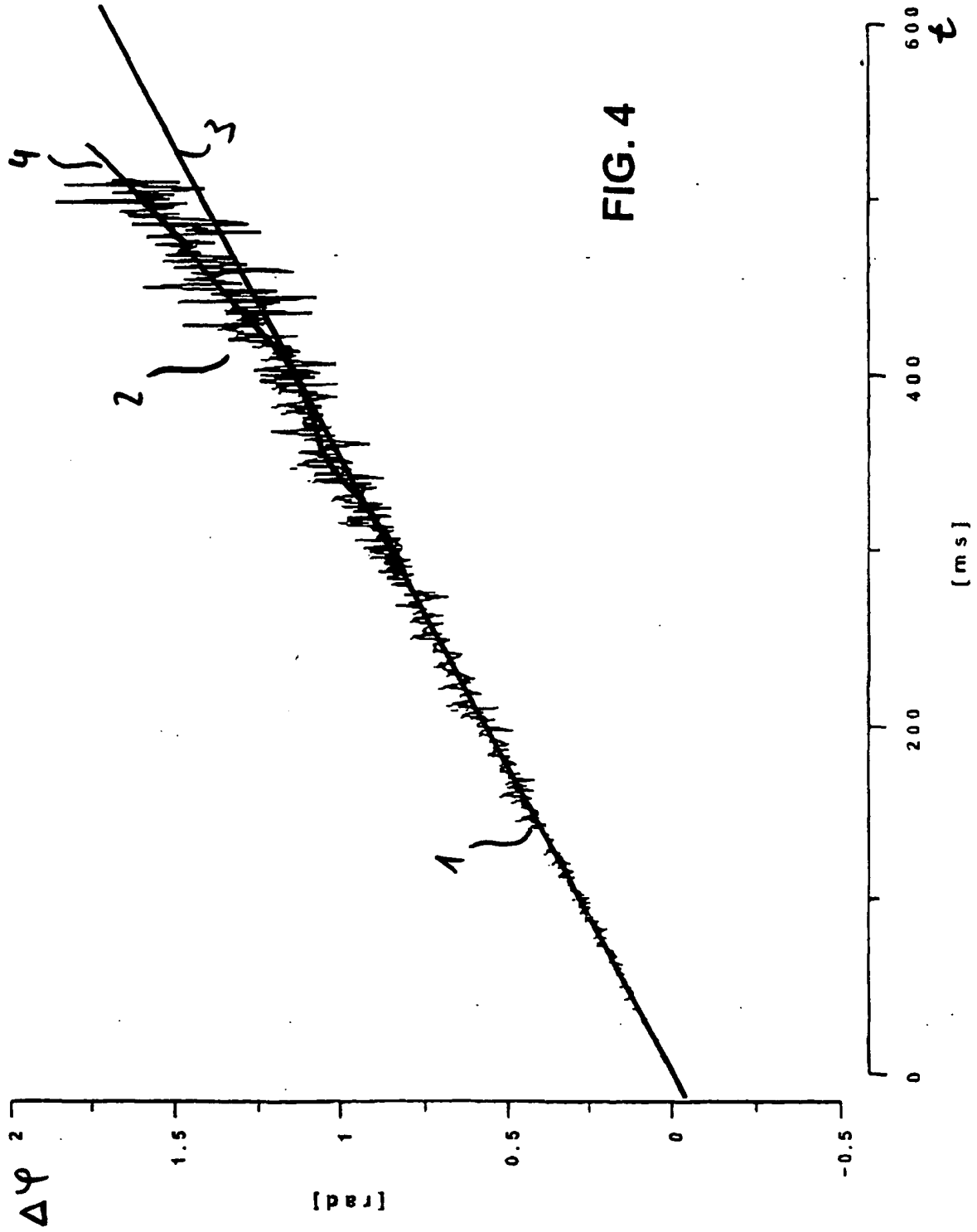
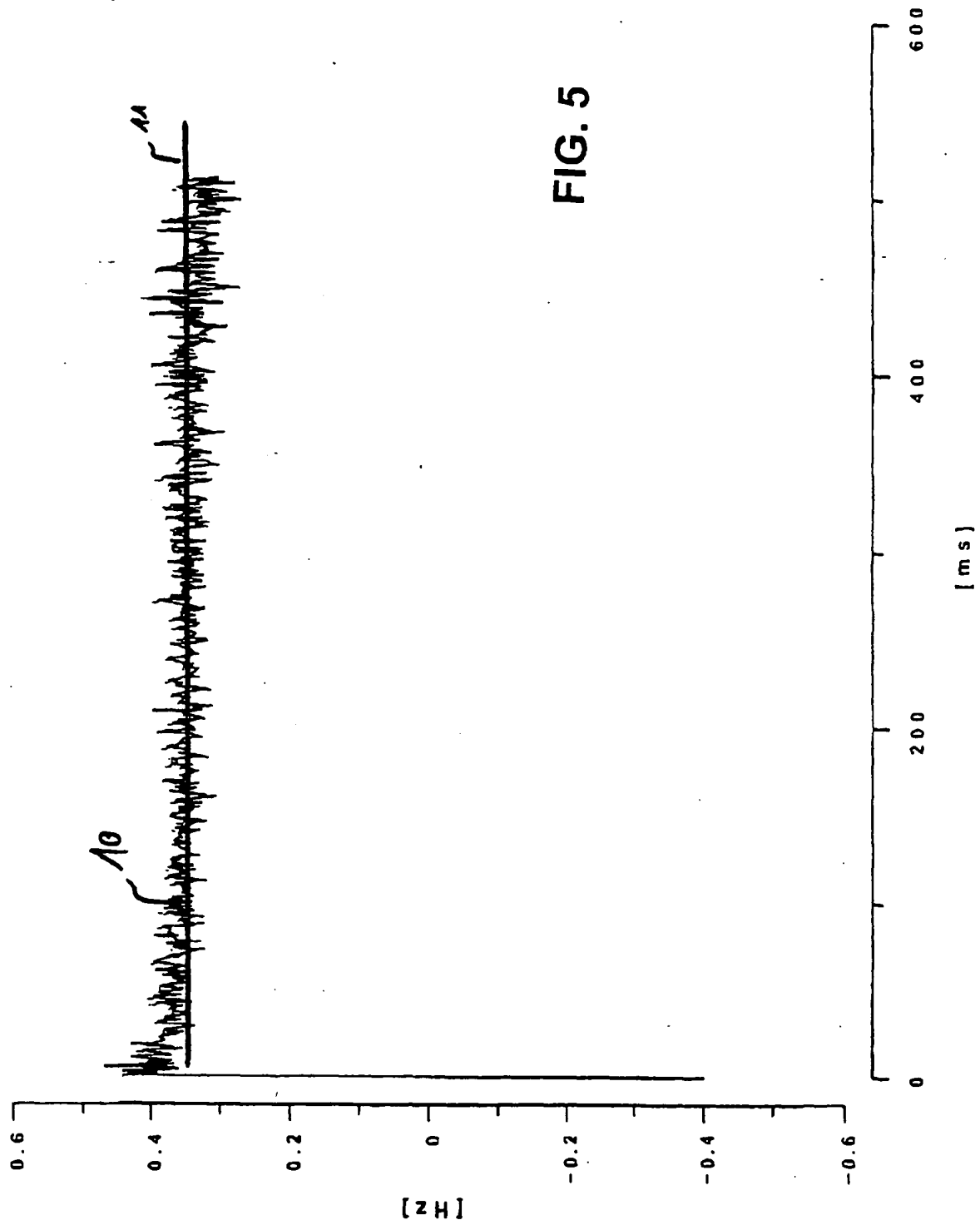
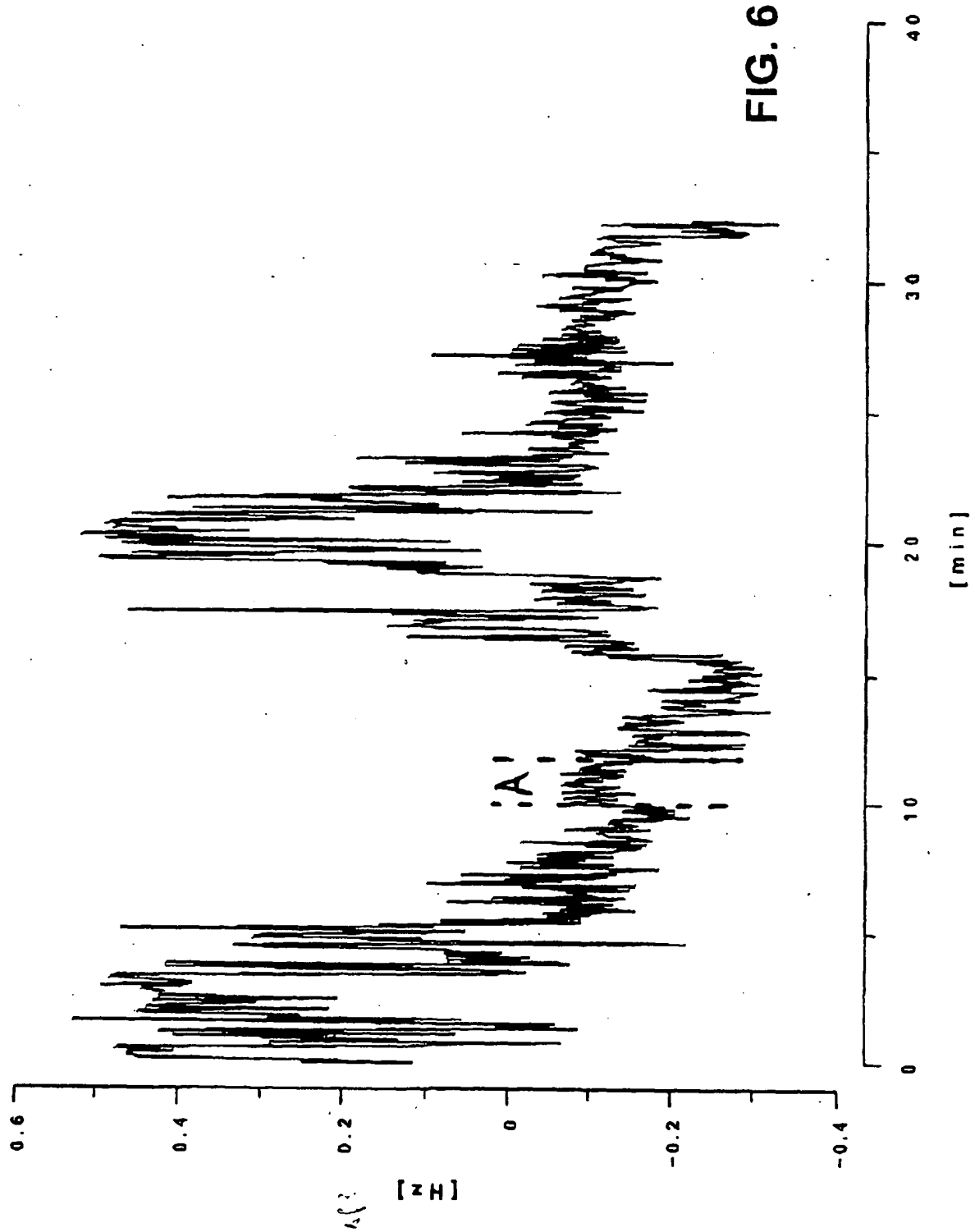


FIG. 3 b









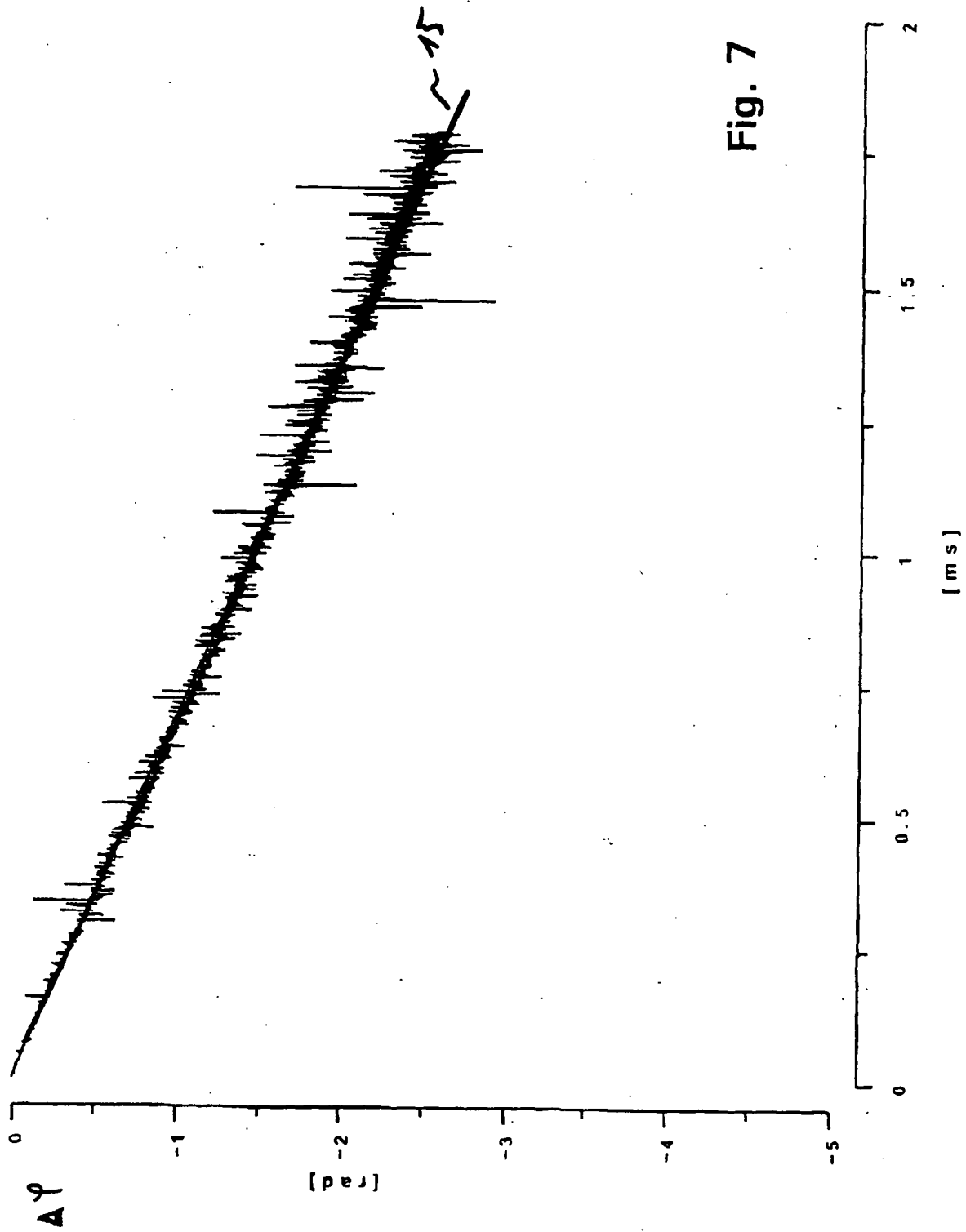
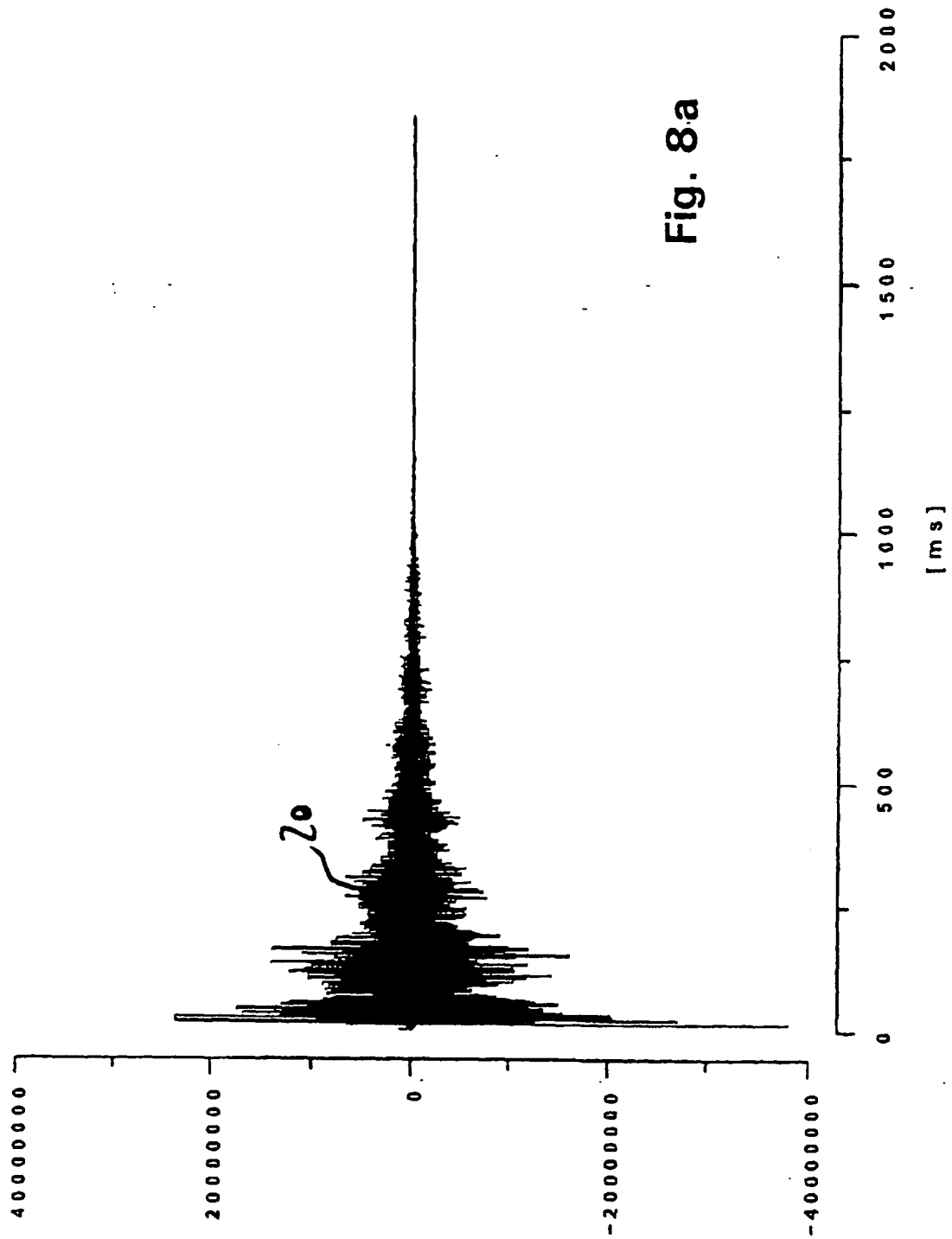


Fig. 7



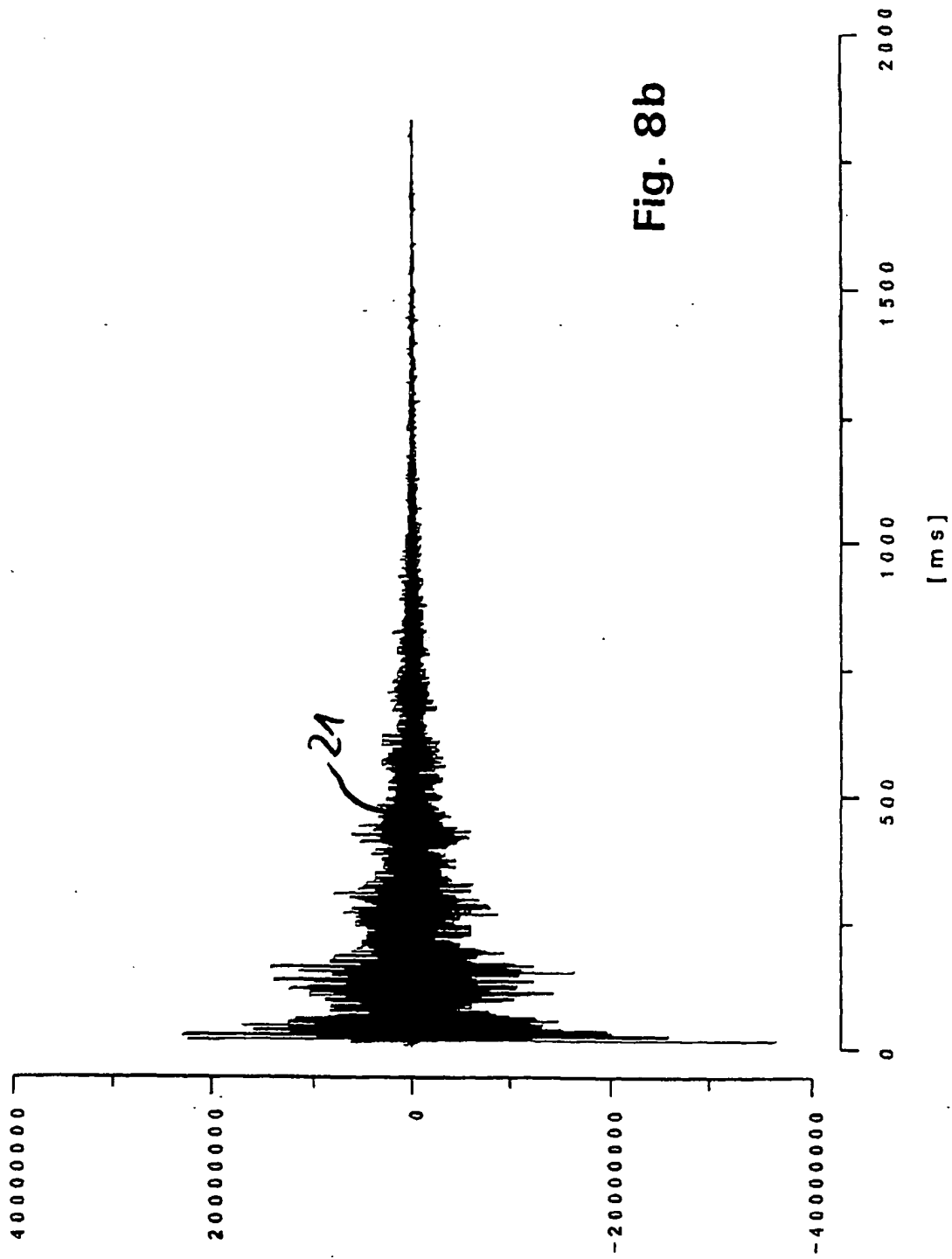


Fig. 8b